

## Práctica Final

Convocatoria ordinaria, curso 2024-2025

Profesores: Manuel Barranco, Mateu Jover

### 1. Objetivos

El objetivo de esta práctica es implementar un sistema de control distribuido sencillo. Para realizar esta práctica será necesario utilizar las habilidades adquiridas en las sesiones de prácticas guiadas, así como algunos de los conocimientos aprendidos en las clases de teoría. Concretamente, se deberán aplicar las competencias relacionadas con los siguientes aspectos.

- Programación de microcontroladores, incluyendo sus dispositivos internos y periféricos (botones, LCD, timer y ADC)
- Concepto de pila de protocolos, capa física, capa de enlace y capa de aplicación.
- Comunicación mediante el bus de campo CAN y el puerto serie

### 2. Descripción general del sistema

La práctica consiste en implementar un sistema de control distribuido como el que se ilustra en la Figura 1. El sistema consta de dos nodos instalados en el nivel de campo, la **estación (o nodo) A**, y la **estación (o nodo) B**; así como de una **estación de operador** conectada a uno de ellos. Los nodos se comunican entre sí utilizando un esquema **TDMA (Time Division Multiple Access)** sobre el bus de campo **CAN**; mientras que la comunicación con la estación de operador se realiza mediante el protocolo **serie (UART)**.

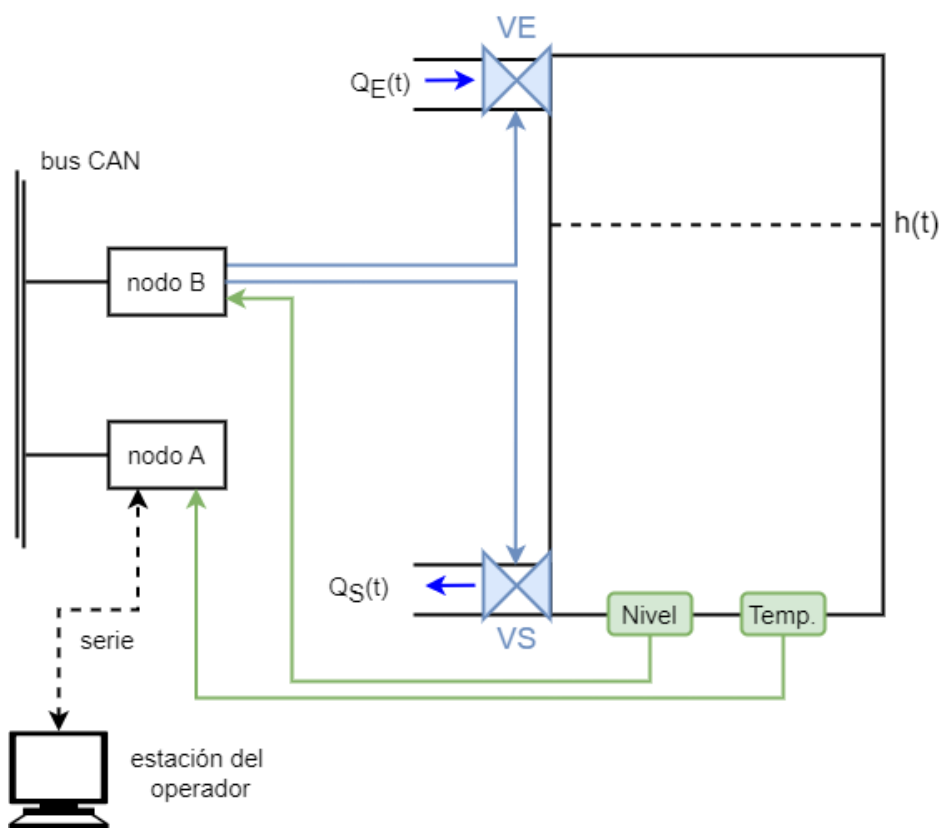


Figura 1. Esquema del sistema de control.

La planta del sistema consta de un depósito donde se almacena cierta cantidad de líquido, una **válvula de entrada (VE)** para permitir la entrada de líquido, una **válvula de salida (VS)** para drenarlo, así como un **sensor de temperatura** y un **sensor de nivel** del líquido almacenado.

### Práctica Final

Convocatoria ordinaria, curso 2024-2025  
Profesores: Manuel Barranco, Mateu Jover

El **objetivo** principal del sistema de **control** es **renovar** el **líquido** del depósito manteniendo el **nivel** (altura) del **líquido** en un valor de **consigna**. Por otra parte, si la **temperatura** del líquido del depósito se encuentra **fuera** de cierto **rango de seguridad**, el sistema de control debe **cerrar el depósito** hasta que la temperatura vuelva a estar dentro de ese rango de seguridad.

A grandes rasgos el trabajo que realiza cada nodo es el siguiente:

El **nodo B** **monitoriza** el sensor de **nivel de líquido** y **envía periódicamente** el valor de este sensor por el bus CAN. El nodo B también **actúa sobre las válvulas VS y VE** para abrirlas o cerrarlas, teniendo en cuenta el **valor de actuación** correspondiente para cada válvula que **recibe periódicamente desde el nodo A** vía CAN. Además, el **nodo B envía periódicamente el estado de dichas válvulas** a través de CAN.

El **nodo A** **ejecuta** periódicamente el **algoritmo de control**. En cada ciclo de control el nodo A: **recibe** vía CAN el valor del sensor de **nivel de líquido** y el estado de **VS y VE**; **muestra** el valor del sensor de **temperatura**; **calcula los valores de actuación** a aplicar sobre **VE y VS** a fin de mantener el nivel de **consigna**; **transmite** los valores de actuación sobre **VS y VE** por el bus CAN. Por otra parte, le **envía** a la estación del **operador** información sobre el **estado** del sistema vía el protocolo **serie**.

El **operador** puede enviar **órdenes** al sistema de control a través del puerto serie desde la **estación de operador**. Estas órdenes permiten: (1) **modificar el valor de consigna** (nivel al que se tiene que mantener el líquido); y (2) **cambiar la duración del slot** del protocolo **TDMA**, para así aumentar/disminuir tanto el periodo de la ronda de comunicación como de la ejecución del algoritmo de control. Finalmente, la **estación de operador** debe mostrar **información textual** sobre el estado del sistema.

En la **Sección 3** se muestra un **esquema de las acciones** que los nodos realizan **en cada slot** de la ronda de comunicación TDMA. Es importante NOTAR los siguientes aspectos:

- **Cada slot** está **reservado** para que **un solo nodo transmita** por el bus **CAN**. Por ejemplo, el nodo B tiene reservados los slots 1, 2 y 3 para transmitir el nivel y el estado de VE y el estado de VS.
- **Cada slot** es lo **suficientemente grande** como para que las **tramas** que el nodo correspondiente quiera transmitir **se completen con éxito** en ese slot. Por tanto, es **imposible que más de un nodo** intente **transmitir** en el bus CAN al **mismo tiempo** y, por consiguiente, **nunca** se va a desencadenar un **arbitraje** en el bus.
- **Sin embargo**, un **nodo** que **transmita dos tramas consecutivas en un mismo slot** deberá **comprobar**, antes de transmitir la segunda trama, **si la primera de ellas** ha terminado de transmitirse con éxito. Esto debe hacerse no porque vaya a haber arbitraje (que no lo va a haber); sino **porque** en el caso de querer transmitir dos tramas consecutivas, **es necesario comprobar** si el **buffer de transmisión** del controlador está **disponible** antes de ordenar la transmisión de la segunda (tal y como se ha visto en las prácticas guiadas).
- Hay slots en los que ningún nodo transmite vía CAN; ningún nodo transmite vía CAN en los slots 4, 6, 7, 8 y 9.
- Dada la baja tasa de errores en el bus CAN, esta práctica **no considera** la gestión de tramas **corrompidas**.
- El **nodo A** realiza un **conjunto de acciones a lo largo** de un **intervalo de tiempo** que **engloba a varios slots**. Concretamente, como se puede ver en el esquema de la **Sección 3**, el nodo A lleva a cabo varias acciones a lo largo de un intervalo que engloba a los slots 7, 8 y 9.

# ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR UIB

## Redes de Comunicaciones Industriales

### Práctica Final

Convocatoria ordinaria, curso 2024-2025

Profesores: Manuel Barranco, Mateu Jover

### 3. Ronda de comunicación TDMA

A	A	A	A	A	A				A
			<p>- <b>Calcular</b> los nuevos valores de <b>actuación</b> a aplicar sobre <b>VS</b> y <b>VE</b> teniendo en cuenta:</p> <p>(1) el <b>modo de operación</b> (ver <i>Secciones 5.1 y 7</i>),</p> <p>(2) la <b>consigna</b> actual, y,</p> <p>(3) el último valor muestreado del sensor de <b>temperatura</b>.</p> <p>(4) el último valor recibido vía CAN del sensor de <b>nivel</b>.</p>	<p>- <b>Transmitir</b> vía CAN una <b>Trama de actuación VE</b> y una <b>Trama de actuación VS</b> (cada trama debe contener el valor a aplicar en el actuador correspondiente).</p>	<p>- <b>Transmitir</b> vía <b>UART</b> al operador el <b>estado</b> de la planta, la <b>consigna</b> y la <b>duración</b> del slot.</p>				<p>- Si en el buffer de <b>recepción</b> de la <b>UART</b> hay alguna <b>orden</b> del operador, procesar la <b>más antigua</b>. Concretamente:</p> <p>(1) <b>Si</b> se trata de una <b>orden de cambio de consigna</b>, cambiar la consigna de nivel.</p> <p>(2) <b>Si</b> se trata de una <b>orden de cambio de duración de slot</b>:</p> <p><b>Registrar orden de cambio de duración del slot *</b></p> <p><b>Transmitir</b> vía <b>CAN</b> una <b>Trama de cambio de duración</b>. Esta trama debe <b>contener</b> la <b>nueva duración</b> del slot.</p>
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
<p>- <b>Transmitir</b> vía CAN una <b>Trama de nivel</b> con el valor del sensor de <b>nivel</b>.</p>	<p>- <b>Transmitir</b> vía CAN una <b>Trama de estado VE</b> con el estado de <b>VE</b>.</p>	<p>- <b>Transmitir</b> vía CAN una <b>Trama de estado VS</b> con el estado de <b>VS</b>.</p>			<p>- <b>Aplicar</b> en <b>VE</b> el valor de <b>actuación</b> recibido en la <b>Trama de actuación VE</b>.</p> <p>- <b>Aplicar</b> en <b>VS</b> el valor de <b>actuación</b> recibido en la <b>Trama de actuación VS</b>.</p>				<p><b>Si se recibe Trama de cambio de duración. Registrar (en la ISR de CAN) orden de cambio de duración de slot *</b></p>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

\* NOTA: para que la **duración** de los **slots** sea **homogénea** en la ronda, el **cambio** de duración de slot **NO** debe realizarse en la ronda donde se registra la orden, sino en la **ronda siguiente**. Concretamente:

El Nodo A debe hacer el cambio al inicio del slot 0 de la ronda siguiente (mejor si lo hace en el hook del timer que se utiliza para implementar el tick).

El Nodo B debe hacer el cambio al inicio del slot 0 de la ronda siguiente (mejor si lo hace en la ISR de CAN al recibir la trama de sincronización).

### Práctica Final

Convocatoria ordinaria, curso 2024-2025

Profesores: Manuel Barranco, Mateu Jover

#### 4. Estructura del programa y sincronización entre nodos

Para que **cada nodo** realice las **acciones** que están planificadas para él en **cada slot**, el programa principal de cada nodo se implementará básicamente en forma de una estructura de control de flujo **switch case** dentro de un bucle infinito. Es decir, cada nodo utilizará cada rama de su **switch case** para implementar las acciones que debe realizar en un slot determinado.

Ahora bien, para conseguir que cada rama del switch case se **ejecute de forma isócrona**, cada nodo utilizará el **timer 5** de su placa. Concretamente, cada vez que el **timer 5** expire, su ISR incrementará una variable global llamada **TICK** cuyo valor será consultado por la sentencia switch para determinar cuál es el paso actual que el programa principal debe ejecutar.

Para implementar este sistema, sin embargo, **se necesitaría un mecanismo de sincronización de reloj** que garantizase la sincronización entre los nodos a nivel temporal. Como no disponemos de dicho mecanismo, será **necesario implementar un mecanismo de sincronización de ronda sencillo** entre ambos nodos. Este mecanismo consistirá en añadir un slot adicional antes de la ronda de comunicación, así como un slot adicional después de dicha ronda; tal y como se esquematiza en la siguiente tabla:

nodo A transmite trama de sincronización	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
nodo B inicia timer al recibir esta trama	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	nodo B pausa timer
<b>slot 0 de sincronización</b>	<b>slots de ronda</b>	<b>slot 11 de guarda</b>

Tabla 1. Ronda completa con slots de sincronización y guarda.

Así pues, aparte de los slots que constituyen la ronda original (a los que nos referiremos como **slots de ronda**), cada ronda de comunicación comenzará con un **slot de sincronización** (slot 0) y terminará con un **slot de guarda** (slot 11).

Más concretamente, el **nodo A** actuará como **maestro de la sincronización**, mientras que el **nodo B** actuará como **esclavo**; de la siguiente forma:

- Nodo A (maestro de la sincronización de ronda)
  1. Cuando el nodo A inicie su ejecución pondrá en marcha su timer 5 (para contar 50 ms por defecto). El nodo A no pausará dicho timer en ningún momento (aunque sí deberá reconfigurarlo si se le ordena cambiar la duración del slot; **leer NOTA de la Sección 3**). El **timer 5 del nodo A** se puede considerar, por tanto, como el **reloj maestro**.
  2. Al principio del slot de sincronización, el **nodo A** enviará una trama (sin datos) que indicará el inicio de la ronda de comunicación. Nos referiremos a dicha trama como **trama de sincronización**.
  3. A continuación, el nodo A llevará a cabo los slots de ronda según la planificación establecida.
  4. Durante el slot de guarda el nodo A no realizará ninguna acción ni transmisión.
  5. El nodo A repetirá los pasos 2, 3 y 4 de esta lista una y otra vez.
- Nodo B (esclavo de la sincronización de ronda)
  1. Cuando el nodo B inicie su ejecución **NO** debe configurar ni poner en marcha su timer 5. Por tanto, el nodo B **NO** ejecutará ningún slot de su ronda.
  2. Cuando el nodo B reciba la trama de sincronización, **configurará e iniciará** el timer 5 (para contar 50 ms por defecto) y **considerará que se encuentra al principio del slot de sincronización**.
  3. A continuación, cada vez que expire su timer 5, el nodo B llevará a cabo los slots según la planificación establecida.
  4. Al **principio del slot de guarda**, el nodo B **pausará** el timer 5.
  5. El nodo B repetirá los pasos 2, 3 y 4 de esta lista una y otra vez.

## Práctica Final

Convocatoria ordinaria, curso 2024-2025  
Profesores: Manuel Barranco, Mateu Jover

### 5. Descripción funcional de los nodos

A continuación, se detallan las acciones que cada nodo debe realizar, así como ciertos aspectos sobre la forma en que deben comportarse desde el punto de vista funcional.

#### 5.1. Nodo A

El nodo A es el responsable de tomar periódicamente las decisiones para controlar la planta (ejecuta el algoritmo de control), transmitir instrucciones al nodo B, e interaccionar con la estación del operador para enviarle información sobre el estado de la planta y para recibir órdenes.

##### Modos de operación del sistema y cálculo de los valores de actuación

El sistema debe ser capaz de operar en dos **modos de operación** diferentes, dependiendo de si la temperatura del líquido del depósito está o no dentro de un **rango de temperatura de seguridad** [tempMin, tempMax] definido en la *Sección 6* → *Sensor de temperatura*. Concretamente:

- Si la temperatura está dentro de este rango, el modo de operación es **normal**.
- Si la temperatura está fuera de este rango, el modo de operación es **alarma**.

El **modo de operación determinará la forma** en que el **nodo A calculará los valores de actuación** a aplicar sobre VE y VS, tal y como se especifica en la *Sección 7*.

##### Acciones planificadas

Las acciones isócronas planificadas para el nodo A en cada ronda son, según el esquema de *Sección 3*, las siguientes:

Slot 4:

- Lee los valores del estado de VE y del sensor de temperatura recibidos vía CAN en la ronda actual y los valores de estado VS y del sensor de nivel.
- Si la temperatura está dentro del **rango de temperatura de seguridad** el nodo ingresa en el modo de operación normal (si es que no lo estaba ya).
- Si la temperatura está fuera dicho rango de seguridad, el nodo ingresa en el modo de operación alarma (si es que no lo estaba ya).
- Calcula el valor de actuación a aplicar sobre las válvulas VE y VS, teniendo en cuenta el modo de operación, el valor actual de consigna, y los valores del sensor de temperatura y nivel (ver *Sección 7*).

Slot 5:

- Transmite vía CAN la **Trama de actuación VE** (trama para ordenarle al nodo B que actúe sobre VE aplicando un valor concreto).
- Transmite vía CAN la **Trama de actuación VS** (trama para ordenarle al nodo B que actúe sobre VS aplicando un valor concreto).

Slots 6, 7, 8 y 9:

- Transmite al operador, vía la UART, la información relevante sobre la planta, así como la consigna que actualmente está considerando y la duración actual del slot.

Slot 10:

- Comprueba si ha recibido, en la UART, una orden desde la estación del operador. En caso afirmativo, procesa dicha orden de la siguiente manera:
  - Si se trata de una **orden de cambio de consigna**, el nodo A debe cambiar el valor actual de la consigna del nivel del depósito según lo ordenado por el operador.
  - Si se trata de una **orden de cambio de duración de slot**, el nodo A:
    - **Registra** esa orden en una variable.

### Práctica Final

Convocatoria ordinaria, curso 2024-2025  
Profesores: Manuel Barranco, Mateu Jover

- **Transmite** vía CAN una **Trama de cambio de duración**, que debe **incluir** el nuevo valor de la **duración** del slot según lo ordenado por el operador.

#### Cambio de la duración del slot en el nodo A

Tal y como se ha apuntado en la **NOTA de la Sección 3**, el **cambio** de la duración de los slots **NO** debe realizarse en la **ronda** donde se ha **registrado** la orden de cambio de duración de slot, sino en la **ronda siguiente**.

Concretamente el nodo A debe hacer el cambio al **inicio del slot 0 de la ronda siguiente**. Este cambio consiste en **reprogramar** el **timer** que se utiliza para implementar el **tick**, es decir, el timer 5.

El mejor lugar para reprogramar el timer es dentro de su **hook**. De esta forma se minimiza el tiempo que transcurre entre la expiración del timer y la reprogramación del mismo. Notad que reprogramar el timer implica que se reinicia la cuenta del tiempo del slot 0 y, por tanto, que se introduce una latencia adicional en la duración de este slot. Por ello es importante minimizar dicha latencia.

#### Información que mostrar sobre el estado interno del nodo A

El nodo A debe mostrar en el LCD información sobre su estado interno. Como **mínimo** debe mostrar la siguiente información:

- Modo de operación: *normal* (N) o *alarma* (A).
- Duración actual del slot en ms.
- Valor actual de la consigna en cm.
- Valor de actuación que quiere aplicar sobre la válvula de salida VS: *abierta* (A) o *cerrada* (C).
- Valor de actuación que quiere aplicar sobre la válvula de entrada VE: *abierta* (A) o *cerrada* (C).

## 5.2. Nodo B

El nodo B es el responsable de muestrear los valores de los sensores de temperatura y nivel, así como de actuar sobre las válvulas VE y VS. Además, el nodo B debe enviar a través del bus CAN tanto el valor de estos sensores como el estado de estas válvulas.

#### Acciones planificadas

Las acciones isócronas planificadas para el nodo B son las siguientes:

Slot 1:

- Transmite vía CAN una **Trama de nivel** con el valor actual del sensor de nivel.

Slot 2:

- Transmite vía CAN una **Trama de estado VE** con el estado actual del actuador VE, es decir con el último valor de actuación que aplicó sobre VE.

Slot 3:

- Transmite vía CAN una **Trama de estado VS** con el estado actual del actuador VS, es decir con el último valor de actuación que aplicó sobre VS.

Slot 6:

- **Aplicar** sobre la **válvula VE** el nuevo valor de actuación (recibido en la **Trama de actuación VE**). Esto consiste simplemente en: (1) escribir el valor de actuación en una variable, a la que llamaremos **estadoVE** y que representará el estado de la válvula VE; (2) encender el LED 0 si lo que se ha hecho ha sido abrir la válvula, o apagarlo en caso contrario.
- **Aplicar** sobre la **válvula VS** el nuevo valor de actuación (recibido en la **Trama de actuación VS**). Esto consiste simplemente en: (1) escribir el valor de actuación en una variable, a la que llamaremos **estadoVS** y que representará el estado de la válvula VS; (2) encender el LED 1 si lo que se ha hecho ha sido abrir la válvula, o apagarlo en caso contrario.

### Práctica Final

Convocatoria ordinaria, curso 2024-2025  
Profesores: Manuel Barranco, Mateu Jover

Slot 10:

- **Pausar el timer** que se utiliza para implementar el **tick**, es decir, el timer 5. **Cambio de la duración del slot en el nodo B**

Tal y como se ha apuntado en la **NOTA de la Sección 3**, el **cambio** de la duración de los slots **NO** debe realizarse en la **ronda donde** se ha **registrado** la orden de cambio de duración de slot, sino en la **ronda siguiente**.

Concretamente el nodo B debe hacer el cambio al **inicio del slot 0 de la ronda siguiente**. Este cambio consiste en **reprogramar** el **timer** que se utiliza para implementar el **tick**, es decir, el timer 5.

El mejor lugar para reprogramar el timer es dentro de la **ISR** de **CAN** al **recibir** la **trama de sincronización**. De esta forma se minimiza el tiempo (la latencia) que transcurre entre la recepción de esta trama y la reprogramación del timer. Notad que cuanto mayor sea esta latencia más desfasada estará la ronda del nodo B con respecto a la ronda del nodo A; por tanto, es importante minimizar esta latencia.

#### Información que mostrar sobre el estado interno del nodo B

El nodo B debe mostrar en el LCD información sobre su estado interno. Como mínimo debe mostrar la siguiente información:

- Duración actual del slot en ms.
- Último valor muestreado del sensor de temperatura en grados Celsius.
- Último valor muestreado del sensor de nivel en cm.
- Último valor de actuación aplicado sobre VE: *abierta* (A) o *cerrada* (C).
- Último valor de actuación aplicado sobre VS: *abierta* (A) o *cerrada* (C).

### 5.3. Estación del operador

La estación de operador se puede implementar mediante el programa *Putty* u otro programa análogo. Este programa debe configurarse para comunicarse con el nodo A mediante el puerto serie, utilizando los mismos valores que se usaron en algunas de las prácticas guiadas: 115200 bps, 8 bits, 1 bit de stop, no bit de paridad

La estación del operador debe jugar el papel de interfaz de un sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*).

A través de la estación debemos ser capaces de enviar las siguientes **órdenes** al nodo A.

- **Cambio de consigna** (valor del nivel del depósito):
  - carácter a: 50 cm (500 litros). ← **consigna por defecto**
  - carácter b: 75 cm (750 litros).
  - carácter c: 100 cm (1000 litros).
  - carácter d: 125 cm (1250 litros).
- **Cambio de la duración del slot**:
  - carácter h: 5 ms.
  - carácter j: 10 ms.
  - carácter k: 50 ms. ← **duración por defecto del slot**
  - carácter l: 100 ms.

Por otro lado, la estación debe mostrar por la pantalla del PC información relevante sobre el estado del sistema. Como mínimo, se debe incluir la siguiente información:

- Modo de operación: *normal* o *alarma*.
- Duración actual del slot (en milisegundos).
- Valor actual de consigna en cm.
- Temperatura actual del líquido en el depósito en grados Celsius.

**Práctica Final**

Convocatoria ordinaria, curso 2024-2025

Profesores: Manuel Barranco, Mateu Jover

- Nivel actual del líquido en el depósito en cm.
- Estado de la válvula VE: *abierta* o *cerrada*.
- Estado de la válvula VS: *abierta* o *cerrada*.



### Práctica Final

Convocatoria ordinaria, curso 2024-2025  
Profesores: Manuel Barranco, Mateu Jover

## 6. Descripción de la planta

Dado que es imposible tener un depósito real con los sensores y actuadores, tendremos que simularlos. La simulación se hará de la siguiente forma:

### Dimensiones del depósito

Suponemos que el depósito tiene una base circular de área  $A = 1 \text{ m}^2$  y una altura de 2 m; albergando pues un máximo de 2000 litros.

### Válvula de entrada VE

Consideramos que el caudal de esta válvula cuando está abierta es de  $Q_E = 400 \text{ litros/seg}$ .

### Válvula de salida VS

Consideramos que el caudal de esta válvula cuando está abierta es de  $Q_S = 200 \text{ litros/seg}$ .

### Sensor de temperatura

Emplearemos el potenciómetro de la placa del **nodo A** para simular el sensor de temperatura y, así, cambiar el valor de la temperatura manualmente.

Para representar el valor del sensor de temperatura se utilizará una variable **global** de tipo **int16\_t** (entero de 2 bytes) dentro del nodo A, que deberá actualizarse cada 5 ms mediante el hook de la rutina de servicio de interrupción ISR del ADC.

Suponemos que el rango del sensor es  $[-500, 500] \text{ C}^\circ$  y su precisión  $10 \text{ C}^\circ$

El rango de temperatura de seguridad [*tempMin*, *tempMax*] es:  $[-250, 250] \text{ C}^\circ$ .

### Sensor de nivel

La simulación del sensor de nivel en el **nodo B** es un poco más compleja, ya que tenemos que calcular el nivel (altura  $h$ ) de líquido en el depósito a partir de los estados de las válvulas (VS y VE) y de los caudales de salida ( $Q_S$ ) y entrada ( $Q_E$ ). En este sentido, notad que, si nos centramos en los caudales, el incremento del volumen de líquido dentro del depósito  $\Delta V$  en un intervalo de tiempo  $\Delta t$  se puede expresar como:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = [Q_E(\Delta t) - Q_S(\Delta t)]$$

Por ejemplo, cuando la válvula VE está abierta (es decir,  $Q_E = 400 \text{ litros/seg}$ ) entonces:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \begin{cases} +200 \text{ litros/seg} & \text{si VS abierta} \\ +400 \text{ litros/seg} & \text{si VS cerrada} \end{cases}$$

Sin embargo, a nosotros nos interesa controlar el nivel (la altura  $h$ ) del líquido dentro del depósito. Por tanto, tenemos que obtener la expresión del incremento del nivel,  $\Delta h$ , a partir de la ecuación anterior. Para ello utilizaremos la relación entre el volumen ( $V$ ), la altura ( $h$ ) y el área de la base del depósito, ( $A$ ):

$$V = A \cdot h \rightarrow \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{A \cdot \Delta h}{\Delta t} \rightarrow \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{1}{A} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{1}{A} \cdot [Q_E(\Delta t) - Q_S(\Delta t)]$$

Resumiendo:

Cuando VE está abierta:

$$\frac{\Delta h}{\Delta t} = \begin{cases} 0.2 \text{ m/seg} = 20 \text{ cm/seg} & \text{si VS abierta} \\ 0.4 \text{ m/seg} = 40 \text{ cm/seg} & \text{si VS cerrada} \end{cases}$$

Cuando VE está cerrada:

$$\frac{\Delta h}{\Delta t} = \begin{cases} -20 \text{ cm/seg} & \text{si VS abierta} \\ 0 \text{ cm/seg} & \text{si VS cerrada} \end{cases}$$

### Práctica Final

Convocatoria ordinaria, curso 2024-2025  
Profesores: Manuel Barranco, Mateu Jover

Aunque en nuestra simulación no podemos conseguir una señal continua del nivel, el nodo B **recalculará el nivel del depósito con una frecuencia suficientemente alta** como para que parezca que la señal sí es continua. Concretamente, calcularemos el **incremento del nivel cada 5 ms** ( $\varepsilon h$ ) de la siguiente manera:

$$\varepsilon h = 5 \cdot 10^{-3} \text{ seg} \cdot \frac{\Delta h \text{ cm}}{\Delta t \text{ seg}} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \text{ cm}$$

Resumiendo:

Cuando VE está abierta:

$$\varepsilon h = \begin{cases} 0.1 \text{ cm} = 1 \text{ mm} & \text{si VS abierta} \\ 0.2 \text{ cm} = 2 \text{ mm} & \text{si VS cerrada} \end{cases}$$

Cuando VE está cerrada:

$$\varepsilon h = \begin{cases} -0.1 \text{ cm} = -1 \text{ mm} & \text{si VS abierta} \\ 0 \text{ cm} = 0 \text{ mm} & \text{si VS cerrada} \end{cases}$$

Notad que si el nodo B calcula  $\varepsilon h$  en milímetros (mm), podemos representar tanto este incremento como el nivel mediante valores de tipo **uint16\_t** (entero de 2 bytes). Así evitamos operar con valores en punto flotante, que a veces dan problemas en las interrupciones de Arduino. Evidentemente, a la hora de visualizar el nivel en las interfaces, habrá que calcular su valor equivalente en cm.

Para re-calcular el nivel, el nodo B necesitaría un timer adicional que expirase cada 5ms. Para evitar tener que hacer esto, el nodo B debe re-calcular el nivel dentro del hook de su ADC. Es decir, **aprovecharemos el hook de la ISR del ADC del nodo B no sólo para tomar el valor de la temperatura, sino también para actualizar el valor del nivel** del depósito.

Notad que el valor del **nivel** debe representarse mediante una **variable global** que debe compartir la el hook del ADC y el programa principal del nodo B.

**POR ÚLTIMO**, es importante notar que para re-calcular el nivel, el hook del ADC tiene que conocer el estado de las válvulas VE y VS. Para ello el hook del ADC deberá consultar las variables **estadoVE** y **estadoVS** (Sección 5.2).

## Práctica Final

Convocatoria ordinaria, curso 2024-2025

Profesores: Manuel Barranco, Mateu Jover

### 7. Algoritmo de control

Como ya se ha dicho, el nodo A es el encargado de ejecutar el algoritmo de control. El algoritmo es diferente según el modo de operación del sistema sea normal o alarma.

Cuando el **modo de operación es normal**, el algoritmo implementa uno de los tipos de control más sencillos: un control de tipo “abrir y cerrar” por **histéresis**. Concretamente el nodo A deja la válvula **VS abierta**, e **intenta mantener el nivel de líquido en el punto de consigna abriendo y cerrando VE** según la siguiente función:

$$VE(t) = \begin{cases} \text{abierta} & \text{si } h(t) < \text{nivel mínimo} \\ \text{cerrada} & \text{si } h(t) > \text{nivel máximo} \\ VE(t-1) & \text{si } \text{nivel mínimo} \leq h(t) \leq \text{nivel máximo} \end{cases}$$

Donde el **nivel mínimo** y **nivel máximo** se calcularán como **10 cm** por debajo y por encima del valor de **consigna** respectivamente.

Cuando el **modo de operación es alarma**, el algoritmo simplemente **cierra ambas válvulas**, a fin de que no entre ni salga líquido del depósito.

Se considera que **inicialmente**:

- El **depósito** se encuentra **lleno** (2000 litros con un nivel de 200 cm).
- **VE** y **VS** están **cerradas**.

### 8. Otras observaciones y requisitos

A continuación, se especifican una serie de observaciones y requisitos importantes:

- La gestión de los eventos de **recepción de CAN** debe realizarse vía **interrupción**. Notad que gestionar un evento de recepción **consiste** básicamente en: (1) **leer** el **identificador**; (2) **guardar** en una **variable global** los **datos** de la trama (**según** el valor del **identificador** los datos deben guardarse en una variable concreta); y (3) liberar el buffer de recepción (la liberación se realiza automáticamente al invocar la función *readMsgBuf* de la clase MCP\_CAN).

Práctica Final

Convocatoria ordinaria, curso 2024-2025  
Profesores: Manuel Barranco, Mateu Jover

## 9. Entrega y evaluación de la práctica

La fecha límite de entrega de la práctica será el día **Domingo 5 de Enero de 2025 a las 23:59** horas.

En la página web de la asignatura se habilitará un enlace para subir todos los ficheros correspondientes en un **.zip** cuyo **nombre** debe ser el **número** de la **pareja de prácticas**.

La documentación a entregar dentro del .zip es la siguiente:

- Informe de la práctica en donde se describan los siguientes puntos:
  - Nombre y apellidos de los miembros del grupo.
  - Motivación y objetivo de la práctica.
  - Dibujo y descripción breve de la arquitectura del sistema: elementos hardware.
  - Descripción breve del software utilizado, así como de la estructura de ficheros (dependencias) de los programas.
  - Descripción breve, en forma de tabla, de las tramas CAN utilizadas, p.e. SID, nodo de origen, nodo(s) de destino, número de bytes del campo de datos y significado del dato que contiene cada trama, slot en que se transmite, etc.
  - Especificación de la información que se muestra en la interfaz de cada placa y en la estación del operador (1 página como máximo).
  - Especificación de las órdenes que se pueden ejecutar a través de la estación del operador (1 página como máximo).
  - Descripción breve de la estrategia utilizada para interactuar con los periféricos (p.e. polling y/o ISRs). **NOTA:** los periféricos incluyen las **interfaces de la placa HIB**, los dispositivos integrados en el micro (**timer, adc, UART**) y el **controlador CAN**.
  - Decisiones relevantes de implementación que no hayan sido especificadas en el enunciado (1 página como máximo).
  - Implementación de funcionalidades extra, si las hubiese.
  - Estrategia de las **pruebas realizadas**: (1) estrategia y lista de pruebas durante el desarrollo; (2) estrategia y lista de pruebas finales; (3) explicación detallada de la(s) prueba(s) final(es) más importante(s).
  - Conclusiones.
- Todos los ficheros fuente y de configuración del proyecto siguiendo la estructura de directorios escogida por el grupo de prácticas (no incluir los ficheros compilados ni el ejecutable).
- En la guía docente se detalla la información sobre los criterios de evaluación de la práctica final, la nota mínima exigida, su peso en la nota total de la asignatura, así como las acciones a tomar en caso de detectar fraude en la evaluación. En particular, **NOTAD que un informe deficiente puede implicar suspender la práctica aun cuando ésta funcione correctamente.**
- NOTAD que el profesor de la asignatura **puede requerir una entrevista** con los miembros del grupo en caso de que el profesor tenga dudas sobre algún aspecto de la práctica final.